光集積チップ上での全光型高速量子情報処理実現に向けた

広帯域スクィーズド光生成および全光直交位相検波

Broadband squeezed light generation and all-optical quadrature measurement for high-speed all-optical quantum computation on an optical integrated chip

日本電信電話株式会社 NTT 先端集積デバイス研究所¹,東大院工²,理研 RQC³

⁰柏﨑貴大¹,山嶋大地²,高梨直人²,井上飛鳥¹,風間拓志¹,圓佛晃次¹,渡邊啓¹,

笠原亮一¹,梅木毅同¹,古澤明^{2,3}

NTT Device Technology Labs¹, The University of Tokyo², RIKEN RQC³

^oT. Kashiwazaki,¹ T. Yamashima², N. Takanashi,² A. Inoue,¹ T. Kazama,¹ K. Enbutsu,¹ K. Watanabe,¹ R. Kasahara,¹ T. Umeki,¹ and A. Furusawa^{2,3}

E-mail: takahiro.kashiwazaki.dy@hco.ntt.co.jp

<u>はじめに</u>

時間領域にわたって多重化された連続量光ク ラスター状態を用いる測定誘起型光量子コンピ ュータは、大規模・高速かつ万能な量子計算が可 能であると期待されている^[1].本手法は量子状態 の生成・検出・フィードフォワード操作から構成 され、これらの広帯域化は量子計算の高速化に加 え、飛来する量子波束の空間的間隔の短縮を実現 する.このことは、時間領域多重に必要な光学的 遅延干渉系を小型化し光集積チップ上での量子 操作を実現するために重要である.

近年我々は、本手法の量子性のリソースとなる スクィーズド光生成において、周期分極反転ニオ ブ酸リチウム (PPLN) 導波路による光パラメト リック増幅器 (OPA)を用いることで、THz 級の 広帯域性を示す連続波 6 dB スクィージングに成 功した^[2].一方、光量子状態の検出および操作帯 域は電気回路による制限から、依然として GHz オーダーにとどまっている.そこで OPA による 光位相感応増幅を用いた THz 級の広帯域光検波 技術^[3,4]が提案されており、全光型の量子計算^[5] への発展も期待されている.

今回, 我々は PPLN 導波路型 OPA をスクィー ズド光生成に用いるだけでなく,検出にも用いる ことで THz 級の広帯域なスクィーズド光の測定 に成功したので報告する.また,今後の展開に関 しても紹介する.

広帯域なスクィーズド光生成

連続波かつ広帯域なスクィーズド光は単回通 過でも高い非線形性を発揮する導波路型 OPA に より生成される. Fig. 1 (a)に作製した PPLN 導波 路断面を示す. 高次モードのアンチスクィーズド



Fig. 1 (a) Cross-sectional view of a fabricated PPLN waveguide. (b) Measured vacuum noise and squeezed noise power.



Fig. 2 Measured noise power for amplified vacuum and squeezed light.

ノイズ混入を防ぐため、単一モード伝搬条件となるコアサイズにした. 作製した導波路により 6.3 dB のスクィージングを観測した(Fig. 1 (b)). これは任意の量子計算が可能となる二次元クラスター生成に必要な 4.5 dB を超える値である.

OPA による光直交位相検波

作製した導波路をファイバピグテール型デバ イスとして実装し,ファイバクローズド系での全 光直交位相検波を実施した.従来のバランスドホ モダイン検波と異なり,光領域で OPA による位 相感応増幅を施すことで THz 級のサイドバンド 周波数にわたった信号増幅が可能である.特にス クィージングレベルは OPA 後の光強度に着目す ることで測定される^[6].各波長での光強度測定結 果を Fig.3 に示す.5 THz 以上の側帯波にわたっ て,増幅されたショットノイズレベルよりも低い レベルが観測されている.本結果は OPA により 光直交位相振幅情報が検出可能であることを示 しており,従来の電気回路による測定をこれに置 き換えることで高速な全光型量子情報処理が実 現できることを示唆している.

参考文献

- S. Takeda and A. Furusawa, APL Photonics 4, 60902 (2019).
- [2] 柏崎貴大 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演 会講演予稿集, 10p-Z21-12 (2020).
- [3] Y. Shaked et. al., Nat. Com. 9, 609 (2018).
- [4] N. Takanashi et. al., Opt. Express 28, 34916 (2020).
- [5] T. C. Ralph, Opt. Lett. 24, 348 (1999).
- [6] 柏崎貴大 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演 会講演予稿集, 19a-Z03-9 (2021).